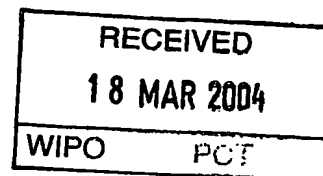


**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

103 16 716.1

Anmeldetag:

11. April 2003

Anmelder/Inhaber:

EPCOS AG, 81669 München/DE

Bezeichnung:

Bauelement mit einer piezoelektrischen Funktions-
schicht

IPC:

H 03 H, H 02 N

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 17. Februar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Remus

Beschreibung

Bauelement mit einer piezoelektrischen Funktionsschicht

- 5 Mit akustischen Volumenwellen arbeitende Resonatoren oder Volumenschwinger, sogenannte FBAR (Thin-Film-Bulk-Acoustic-Resonator) oder auch BAW-Resonatoren (Bulk Acoustic Wave Resonator) genannt, basieren auf einem als Dünnschicht ausgebildeten piezoelektrischen Grundkörper, der an zwei
10 Hauptoberflächen mit je einer Elektrode versehen ist. Solche Resonatoren können beispielsweise zum Aufbau von HF-Filtern verwendet werden. In einem als Filter ausgebildeten Bauelement werden mehrere solcher Resonatoren in Abzweigschaltungen zu einem Filternetzwerk, einem sogenannten Reaktanzfilter,
15 verschaltet.

Auf BAW-Resonatoren basierte Bauelemente spielen insbesondere als Filter in Endgeräten mobiler Telekommunikation eine Rolle.

20

Bauelemente mit BAW-Resonatoren sind üblicherweise auf einem Trägersubstrat z.B. einem kristallinen Wafer aufgebaut. Zwischen jedem Resonator und dem Trägersubstrat ist entweder eine mit Luft gefüllte Ausnehmung, die einen auf die akustische Welle stark reflektiv wirkenden hohen Impedanzsprung darstellt, oder ein akustischer Spiegel angeordnet. In beiden Fällen wird so das Austreten der akustischen Welle aus dem Resonator in Richtung Trägersubstrat TS verhindert.

- 30 Ein akustischer Spiegel besteht z.B. aus einer alternierenden Abfolge von Schichten mit hoher bzw. niedriger akustischer Impedanz. Die Dicke der Spiegelschichten beträgt jeweils ungefähr $1/4$ der Wellenlänge der akustischen Welle im gegebenen Material. Ein erster, unter dem Resonator
35 angeordneter akustischer Spiegel besteht aus einer alternierenden Abfolge von Schichten mit hoher und niedriger akustischer Impedanz.

Beim Herstellen eines BAW Resonators werden die Schichten auf dem Bauelement in der Regel übereinander, jedoch jede separat für sich erzeugt und bei Bedarf einzeln strukturiert. Mit der Anzahl der Schichten steigt die Komplexität der Verfahren zur Abscheidung und Strukturierung der Schichten. Beispielsweise können sich Fehler bei der Abscheidung der jeweils korrekten Schichtdicke kumulieren, so daß über einen gesamten Wafer gesehen eine erhebliche Streuung der Resonanzfrequenzen der Resonatoren und damit der Mittenfrequenz von Filtern in Kauf zu nehmen ist.

Neben den genannten BAW-Resonatoren sind auch andere mit piezoelektrischen Dünnschichten als Funktionsschichten arbeitende Bauelemente bekannt, insbesondere Dünnschichtsensoren und piezoelektrische Aktoren. Auch diesen Bauelementen ist zu eigen, daß sie meist auf Trägersubstraten aufgebracht werden und einen Mehrschichtaufbau aus zumindest einer ersten Elektrode, der piezoelektrischen Funktionsschicht und einer zweiten Elektrode umfassen. Insbesondere bei den piezoelektrischen Aktoren sind Mehrschichtaufbauten erforderlich, bei der sich die Schichtenfolge aus piezoelektrischer Funktionsschicht und Elektrodenschicht mehrfach wiederholt. Bei allen Bauelementen mit piezoelektrischer Funktionsschicht ist die Qualität der Bauelemente im wesentlichen von der Qualität der piezoelektrischen Schicht bestimmt.

Zur Realisierung von BAW-Resonatoren mit geringen Verlusten und einem hohen piezoelektrische Kopplungskoeffizienten ist die streng geordnete Ausrichtung der einzelnen Kristallite innerhalb der piezoelektrischen Schicht erforderlich, die nur durch ein geeignetes Abscheidungsverfahren, in der Regel durch PVD-Verfahren, und auf einer geeigneten Unterlage möglich ist. Für BAW-Resonatoren können optimale elektrische Eigenschaften erzielt werden, wenn die Dünnschicht so aufwächst, daß innerhalb jedes Kristalliten der Dünnschicht eine bevorzugte kristallographische Richtung in einer eindeutigen

geometrischen Beziehung zu einer Richtung des Substrats steht. Beispielsweise ist es vorteilhaft, wenn die piezoelektrische Hauptachse streng parallel zur Normalen auf der Substratoberfläche ausgerichtet ist und die Kristallite dementsprechend streng parallel zueinander aufwachsen.

Neben den entsprechend einzustellenden Abscheideparametern kann dies insbesondere durch die Auswahl einer geeigneten Wachstumsschicht erreicht werden, auf der die Kristallite der piezoelektrischen Schicht geordnet aufwachsen können. Dazu werden in bekannten Bauelementen die piezoelektrischen Schichten auf einer Elektrodenschicht abgeschieden, die auch die Funktion der Wachstumsschicht übernimmt. Nachteilig ist jedoch, daß die Auswahl geeigneter Materialien, die sowohl ausreichende Elektrodeneigenschaften als auch gute Voraussetzungen zum gerichteten Aufwachsen der piezoelektrischen Schicht bieten, stark begrenzt ist. Es stehen nur Materialien zur Verfügung, bei denen Kompromisse hinsichtlich der Elektrodeneigenschaften und der das Wachstum der piezoelektrischen Schicht unterstützenden Eigenschaften in Kauf genommen werden müssen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Bauelement mit zumindest einer hochgeordneten piezoelektrischen Funktionsschicht anzugeben, welches die oben genannten Nachteile vermeidet.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Bauelement mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sowie ein Verfahren zur Herstellung des Bauelements sind weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

Ein erfindungsgemäßes Bauelement ist auf einem Substrat als Abfolge von üblicherweise als Dünnschicht abgeschiedenen einzelnen Schichten aufgebaut, die zumindest eine erste Elektrodenschicht, eine relativ zur ersten Elektrodenschicht dünne,

strukturierte Wachstumsschicht, eine piezoelektrische (Funktions-) Schicht und eine zweite Elektrodenschicht umfaßt.

Die Erfindung gibt erstmals ein Bauelement mit piezoelektrischer Funktionsschicht an, bei dem die piezoelektrische Funktionsschicht hochgeordnet ist und bei dem dennoch eine Elektrodenschicht mit optimalen Elektrodeneigenschaften auswählbar ist. Dies gelingt durch eine Entkopplung der Elektrodenfunktion und der wachstumsunterstützenden Funktion in Form zweier separater Schichten. So können Wachstumsschicht und Elektrodenschicht unabhängig voneinander optimiert werden, wobei ein Bauelement mit verbesserter Elektrode und gleichzeitig verbesserter piezoelektrischer Schicht und damit insgesamt verbesserten elektrischen Eigenschaften erhalten wird, was in der Summe bislang nicht gleichzeitig erreichbar war.

Das Bauelement ist auf einem Substrat aufgebaut, welches als Träger für die nacheinander folgend übereinander abgeschiedenen Schichten des Bauelements darstellt. Dabei ist es möglich, zwischen Substrat und erster Elektrodenschicht eine oder mehrere weitere Schichten mit ähnlicher oder verschiedener Funktion vorzusehen. Das Substrat kann als Trägerschicht allein im Hinblick auf ausreichende mechanische Festigkeit ausgesucht sein. Möglich ist es auch, ein Halbleitersubstrat zu verwenden, um die Integration elektrischer oder elektro-nischer Bauelemente in das Substrat zu ermöglichen.

Die erste Elektrodenschicht kann eine einzelne einheitliche Schicht sein oder als Mehrschichtaufbau zumindest zweier unterschiedlicher Schichten realisiert werden. Die Elektrodenschicht erfüllt die Elektrodenfunktionalität und ist daher ausreichend leitfähig. Vorzugsweise ist die Elektrodenschicht bzw. deren Oberfläche so ausgestaltet, daß das Anbringen von elektrischen Verbindungselementen in einfacher Weise möglich ist. Als Verbindungselemente können Bonddrähte, Bumps oder Schichtelektroden vorgesehen werden. Von Vorteil ist es auch,

wenn die Elektrodenschicht eine hohe Leistungsverträglichkeit aufweist. Eine solche wird vorteilhaft mit Schichten aus Platinmetallen (Pt, Os, Ir, Pd, Ru, Rh), Ag, Au und/oder Cu oder mit Mehrschichtaufbauten, die solche Einzelschichten enthalten, erzielt. Vorteilhaft sind auch Aluminium und Aluminium enthaltende Schichtsysteme, beispielsweise AlCu, AlSiCu, AlMg, oder Al-Legierungen oder auch keramische Elektrodensysteme, z.B. Titannitrid. Von Vorteil sind auf Aluminium basierende Schichten oder Mehrschichtaufbauten insbesondere wenn sie in mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonatoren eingesetzt werden, da aufgrund der geringen Dichte derartiger Schichten bzw. Mehrschichtaufbauten Schichtdickeninhomogenitäten über das gesamte Substrat gesehen nur zu moderaten Streuungen in der Resonanzfrequenz der Resonatoren führen.

Über der Elektrodenschicht wird eine relativ dazu dünne Wachstumsschicht aufgebracht, die das geordnete, texturierte oder kristallachsenorientierte Aufwachsen einer piezoelektrischen Schicht ermöglicht. Es sind bereits Materialien bzw. Schichten bekannt, jedoch konnten diese bislang wegen damit verbundenen Nachteile nicht als optimales Elektrodenmaterial eingesetzt werden. Erst die erfindungsgemäße Trennung von Elektroden- und Wachstumsfunktion ermöglicht es, unabhängig von der Elektrodenschicht optimierte Wachstumsschichten einzusetzen.

Als Wachstumsschichten haben sich beispielsweise Molybdän- oder Goldschichten bewährt. Weiter geeignet sind auch metallische Schichten aus Wolfram oder Platin sowie eine Reihe oxidischer oder halbleitender Verbindungen wie z.B. Silizium, die ein kristallachsenorientiertes Aufwachsen piezoelektrischer Schichten unterstützen. Wachstumsschichten können daher beispielsweise auch aus Saphir, Spinnell, Bariumtitanat, Zirkonoxid, Magnesiumoxid oder Titanoxid bestehen.

Die Auswahl der Wachstumsschicht ist abhängig von der Art der aufzuwachsenden piezoelektrischen Schicht, wobei bestimmte Materialkombination besonders bevorzugt sind. Verwendet man beispielsweise eine Aluminiumnitridschicht als piezoelektrische Schicht, so hat sich Molybdän als bevorzugtes Material für die Wachstumsschicht erwiesen. Für eine piezoelektrische Schicht aus Zinkoxid sind sowohl Gold als auch Molybdän besonders geeignet.

10 Neben der Materialauswahl kann auch die Modifikation der Wachstumsschicht für die Erfindung von Bedeutung sein. Beispielsweise bei Wachstumsschichten aus Gold konnten in Abhängigkeit von der Goldbeschaffenheit erheblich voneinander abweichende Ergebnisse beim Aufwachsen der piezoelektrischen Schicht beobachtet werden. Besonders bevorzugt als Wachstumsschicht ist beispielsweise aufgedampftes Gold.

20 Die piezoelektrische Schicht wird direkt über der Wachstumsschicht aufgewachsen. Sie kann ein beliebiges piezoelektrisches Material umfassen, welches sich kristallachsenorientiert aufwachsen läßt. Nachdem sich die Materialien Zinkoxid und Aluminiumnitrid bereits in Bauelementen als piezoelektrische Funktionsschicht bewährt haben, sind sie auch für erfindungsgemäße Bauelemente bevorzugt.

30 Über der piezoelektrischen Schicht ist eine zweite Elektrodenschicht vorgesehen. Die zweite Elektrodenschicht kann zur Herstellung eines entsprechenden Multilayerbauelements wiederum mit einer Wachstumsschicht und darüber einer weiteren piezoelektrischen Schicht und abschließend einer weiteren Elektrode versehen werden, wobei sich dieser Aufbau auch mehrfach wiederholen kann. Zwischen Elektrodenschicht und Wachstumsschicht können außerdem noch Haftvermittler- oder Anpassungsschichten vorgesehen sein.

35 In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Wachstumsschicht so strukturiert, daß sie eine geringere

Grundfläche als der in der Elektroden-schicht vorgesehene direkte Elektrodenbereich aufweist. Die Strukturierung kann beispielsweise mit einem Lift-Off-Verfahren erfolgen, das es ermöglicht, den Einsatz von aufwändigen Plasmaprozessen wie
5 beispielsweise das Trockenätzen und die damit verbundenen (Strahlungs-) Schäden vermeiden. Diese würden aufwändige Nachbehandlungen durch trockene oder nasse Verfahren erfordern, die als zusätzliche Prozeßschritte das Verfahren komplizieren würden. Naßätzbare Schichten können problem- und
10 gefahrlos nach dem Abscheiden der Wachstumsschicht strukturiert werden, ohne daß dadurch die Oberflächen und das weitere Aufwachsen von Schichten darunter leiden.

Die piezoelektrische Schicht wird vorzugsweise ganzflächig
15 aufgewachsen, wobei sie zumindest im Bereich über der Wachstumsschicht geordnet und insbesondere kristallachsenorientiert aufwächst. Rund um die Wachstumsschicht schließt die piezoelektrische Schicht mit der Elektroden-schicht bzw. dessen Elektrodenbereich ab. Möglich ist es nun auch, die
20 piezoelektrische Schicht nach dem Abscheiden zu strukturieren, wobei die Struktur-grenzen so gezogen werden, daß die vollständige Einkapselung der Wachstumsschicht zwischen piezoelektrischer Schicht und Elektroden-schicht bzw. zwischen piezoelektrischer Schicht und Elektrodenbereich erhalten
3 bleibt. Dies hat für erfindungsgemäße Bauelemente den weiteren Vorteil, daß keinerlei Grenzflächenprobleme und Inkompatibilitäten mit der zweiten Elektroden-schicht zu beachten sind. Solche Inkompatibilitäten, die an Grenzflächen bestimmter Schichtsysteme zu Material-Migration führen,
30 würden andernfalls zusätzliche Sperrschichten aus z.B. Ti oder Pt erfordern, um einen direkten Kontakt dieser zueinander inkompatiblen Elektroden- und Wachstumsschichtmaterialien zu vermeiden.

35 Ein weiterer Vorteil der vollständigen Einkapselung der Wachstumsschicht ist, daß dafür nun Materialien verwendet werden können, die in Weiterverarbeitungsstufen erfindungs-

gemäßiger Bauelemente als freiliegende Schicht eigentlich nicht zugelassen sind. Insbesondere wenn erfindungsgemäße Bauelemente auf Halbleitersubstraten aufgebaut sind und mit CMOS-Prozessen kombiniert werden, muß zur Vermeidung einer Kontamination die Verwendung verschiedener Materialien ausgeschlossen werden. Dies ist mit erfindungsgemäßer Einkapselung der Wachstumsschicht bezüglich der Wachstumsschicht nicht nötig und macht daher den Einsatz diesbezüglich bedenklicher Materialien möglich.

Die Einbettung der Wachstumsschicht bzw. die Strukturierung der Wachstumsschicht und relativ dazu der piezoelektrischen Schicht hat außerdem den weiteren Vorteil, daß die Strukturierung der piezoelektrischen Schicht selektiv zur ersten Elektrodenschicht bzw. selektiv nur zur obersten Schicht des für die erste Elektrodenschicht verwendeten Mehrschichtaufbaus erfolgen kann. Ein gleichzeitiges Strukturieren mehrerer Schichten ist daher nicht erforderlich. Daher ist es auch möglich, die Strukturierung der piezoelektrischen Schicht naßchemisch vorzunehmen, die andernfalls (beim Ätzen von Mehrschichtsystemen) zu Unterätzungen führen könnten. Auch aus diesem Grund kann der ansonsten schädliche Einsatz von Trockenätzprozessen, welche außerdem höhere Kosten verursachen, vermieden werden.

Für die Auswahl der Wachstumsschicht ist es unerheblich, ob das dafür verwendete Material ausreichende Elektrodeneigenschaften und insbesondere Stromtragefähigkeit aufweist, oder das verwendete Verfahren eine ausreichende Kantenbedeckung gewährleistet. In Abhängigkeit von der verwendeten Schichtdicke ist nicht einmal eine elektrische Leitfähigkeit erforderlich. Es können also schlechte elektrische Leiter ebenso Verwendung finden wie Abscheideverfahren, bei denen eine ausreichende Kantenbedeckung nicht oder nur schwer zu erreichen ist.

Für die zweite Elektrodenschicht, bzw. für ein Elektrodenmehrschichtsystem, welches als zweite Elektrodenschicht eingesetzt wird, können vorteilhaft auch Metalle bzw. Mehrschichtsysteme mit einer hohen Leistungsverträglichkeit zum Einsatz kommen. Auch hierfür bieten sich wieder Schichten oder Mehrschichtsysteme mit Einzelschichten aus Platinmetallen, Silber, Gold, Kupfer, Titan, Molybdän und Wolfram sowie außerdem Aluminium oder aluminiumumfassende Schichtsysteme wie beispielsweise AlCu, AlSiCu, AlMg an. Ebenso
geeignet sind keramische Elektrodensysteme wie beispielsweise Titannitrid.

Mit der Erfindung wird nicht nur ein Bauelement mit einer piezoelektrischen Schicht mit verbesserter innerer Struktur erhalten, sondern es wird auch das Verfahren zur Herstellung so verbessert, daß eine stabile und fähige Prozeßführung (Prozeßfähigkeitsindex (zentriert) $> 1,33$) ermöglicht wird. Das Verfahren ist zur Integration in CMOS-Verfahren geeignet. In einer Prozeßlinie lassen sich daher gleichzeitig die Bauelemente mit piezoelektrischer (Funktions-) Schicht und in das Substrat integrierten elektrischen und elektronischen Bauelementen herstellen.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und den dazugehörigen schematischen Figuren, die nur der Erläuterung dienen und daher nicht maßstabsgetreu ausgeführt sind, näher beschrieben.

Figur 1 zeigt einen erfindungsgemäßen Schichtaufbau im schematischen Querschnitt.

Figur 2 zeigt in einer detaillierteren Darstellung die Orientierung der Kristallite der piezoelektrischen Schicht.

Figur 3 zeigt zwei mögliche Ausführungsformen für einen erfindungsgemäßen BAW-Resonator.

Figur 4 zeigt eine mögliche Strukturierung eines BAW-Resonators anhand einer Draufsicht und zweier Querschnitte.

5

Figur 5 zeigt ein erfindungsgemäßes strukturiertes Bauelement im schematischen Querschnitt und

Figur 6 zeigt im schematischen Querschnitt ein als Multilayerpiezoaktor ausgebildetes erfindungsgemäßes Bauelement.

10

Figur 1 zeigt einen erfindungsgemäßen Schichtaufbau mit einem Substrat S, einer ersten Elektrodenschicht E1, einer relativ dazu dünnen strukturierten Wachstumsschicht W, einer piezoelektrischen Schicht P und darüber einer zweiten Elektrodenschicht E2. Erste und zweite Elektrodenschicht E1, E2 können Einzelschichten oder ein Mehrschichtsystem darstellen. Im Mehrschichtsystem können diffusionsmindernde und/oder harte Schichten integriert sein, um die Leistungsverträglichkeit der Elektrodenschicht zu verbessern. Zwischen der ersten Elektrodenschicht E1 und dem Substrat bzw. zwischen Substrat und der untersten Schicht eines Mehrschichtaufbaus, der die Elektrodenschicht E1 realisiert, kann eine Haftvermittler oder Anpassungsschicht vorhanden sein, vorzugsweise eine dünne Titanschicht.

15

20

30

35

Die Wachstumsschicht W ist relativ dünn und weist beispielsweise eine Dicke von 100 nm oder weniger auf. Im Vergleich dazu wird die erste Elektrodenschicht E1 in einer Gesamtdicke von zirka 200 bis 500 nm ausgeführt. Die genaue Dicke ist jedoch abhängig vom Bauelementtyp. Bei einem BAW-Resonator geht die Dicke der Elektrodenschicht in die Bemessung der für die Resonanzfrequenz erforderlichen Gesamtschichtdicke ein und ist daher nicht frei wählbar. Bei anderen Bauelementen kann die Dicke der Elektrodenschicht ausschließlich in

Abhängigkeit von der gewünschten Stromtragfähigkeit gewählt werden.

Die piezoelektrische Schicht P kann aus beliebigen orientiert aufwachsbaren piezoelektrischen Materialien bestehen. Die Schichtdicke ist Abhängigkeit vom Bauelementtyp, die beispielsweise bei einem Piezoaktor in Abhängigkeit von der angelegten Spannung, bei einem BAW-Resonator in Abhängigkeit von der gewünschten Resonanzfrequenz bestimmt wird. Im letztgenannten Fall hat die piezoelektrische Schicht P eine Dicke, die ungefähr einer halben Wellenlänge der im BAW-Resonator ausbreitungsfähigen akustischen Volumenwelle entspricht.

Die Materialauswahl für die zweite Elektrodenschicht E2 ist unkritischer als die für die erste Elektrodenschicht E1, da über dieser Schicht keine weiteren und insbesondere keine weiteren orientierten Schichten mehr abgeschieden werden müssen.

Figur 2 zeigt anhand einer vergrößerten detaillierteren Darstellung einen erfindungsgemäßen Schichtaufbau im Querschnitt. In der piezoelektrischen Schicht P sind rein schematisch einzelne Kristallite K dargestellt, die parallel über der Wachstumsschicht W aufgewachsen sind. Auf diese Weise sind die Kristallachsen KA parallel zueinander und parallel zur Normalen über der Wachstumsschicht W ausgerichtet. Stimmt diese Kristallachse KA mit der piezoelektrischen Achse überein, so kann mit dem erfindungsgemäßen Bauelement eine maximale piezoelektrische Auslenkung erzielt werden. Auch die piezoelektrische Kopplung ist bei derartiger Ausrichtung maximal.

Figur 3 zeigt zwei verschiedene Ausführungsformen an sich bekannter BAW-Resonatoren, die erfindungsgemäß verbessert werden können. Figur 3a zeigt einen BAW-Resonator in Membrantechnologie, der im Prinzip den in Figur 1 dargestellten Auf-

bau aufweist. Im aktiven Resonatorbereich, der dem Überlapp der Elektroden E1 und E2 entspricht, ist im Unterschied zur Figur 1 zwischen Substrat und erster Elektrodenschicht E1 ein Luftspalt L vorgesehen. Dieser führt dazu, daß aufgrund des großen Impedanzunterschieds zwischen dem Elektrodenmaterial der ersten Elektrodenschicht E1 und Luft ein hoher Impedanzsprung gegeben ist, der zur Reflexion der akustischen Welle an der entsprechenden Grenzfläche der ersten Elektroden-
5 schicht E1 führt. Der Luftspalt L kann vor oder nach dem Aufbau des für das Bauelement erforderlichen Schichtsystems hergestellt werden.
10

Figur 3b zeigt einen BAW-Resonator in Spiegeltechnologie, bei der zwischen Substrat S und erster Elektrodenschicht E1 ein akustischer Spiegel AS vorgesehen wird. Dieser umfaßt in alternierender Reihenfolge Schichten mit abwechselnd hoher und niedriger Impedanz. In der Figur 3b sind vier akustische Spiegelschichten R1, R2, R3 und R4 dargestellt, wobei Spiegelschichten mit niedriger Impedanz beispielsweise aus SiO_2 bestehen, Schichten mit hoher Impedanz dagegen aus Metall, insbesondere aus Schwermetall wie Mo oder W, oder auch aus nichtmetallischen Schichten wie z.B. Aluminiumnitrid, Siliziumcarbid oder Diamant. Die Dicke der Spiegelschichten wird ungefähr auf ein Viertel der Wellenlänge bei Resonanzfrequenz des BAW-Resonators eingestellt. Möglich ist es jedoch auch, das Bauelement mit einer davon verschiedenen auch ungeraden Anzahl von Spiegelschichten realisieren, wobei die Materialauswahl ausschließlich in Abhängigkeit von der Impedanz des jeweiligen Materials erfolgen kann.
20
30

Figur 4A zeigt eine beispielhafte Strukturierung für die einzelnen Schichten in erfindungsgemäßen BAW-Resonatoren. Die erste Elektrodenschicht E1 wird großflächig aufgebracht und anschließend strukturiert, so daß ein Elektrodenbereich E11 und ein Anschlußbereich E12 entsteht. Über dem Elektrodenbereich E11 wird die Wachstumsschicht W ganzflächig aufgebracht und anschließend vorzugsweise naßchemisch so strukturiert,
35

daß sie eine kleinere Grundfläche als der Elektrodenbereich E11 aufweist. Die Kanten der Wachstumsschicht W sind allseits von den Kanten des Elektrodenbereichs E11 beabstandet.

5 Die piezoelektrische Schicht P wird ganzflächig aufgebracht und anschließend so strukturiert, daß sie die Wachstums-
schicht W vollständig bedeckt, deren Kanten allseits über-
lappt und direkt mit dem Elektrodenbereich E11 abschließt.
Zusätzlich kann die piezoelektrische Schicht auch die Kanten
10 des Elektrodenbereichs überlappen. Im nächsten Schritt wird
die zweite Elektrodenschicht E2 aufgebracht und so struk-
turiert, daß sich ein zweiter Elektrodenbereich E21 und eine
zweite Elektrodenanschlußfläche E22 herausbildet. Der zweite
Elektrodenbereich E21 deckt sich vorzugsweise mit der Fläche
15 der Wachstumsschicht W, ist zu dieser zentriert und weist
noch vorteilhafter eine geringere Grundfläche als die
Wachstumsschicht auf.

Figur 4C zeigt den Schichtaufbau anhand eines schematischen
20 Schnitt entlang der in Figur 4A dargestellten Schnittlinie X.
Gut zu erkennen ist, daß die Wachstumsschicht W vollständig
von der piezoelektrischen Schicht P eingebettet ist. Der
erste Anschlußbereich E12 der ersten Elektrodenschicht liegt
ebenso frei wie ein Anschlußbereich E22 der zweiten
5 Elektrodenschicht.

Figur 4B zeigt einen Schnitt durch den Aufbau entlang der in
Figur 4A dargestellten Schnittlinie Y. Auch in diesem Schnitt
ist die vollständige Einkapselung der Wachstumsschicht W in-
30 nerhalb der piezoelektrischen Schicht P gut erkennbar. Zu er-
kennen ist auch, daß die Fläche der zweiten Elektrodenschicht
E2 ungefähr mit der der Wachstumsschicht W übereinstimmt.

Figur 5 zeigt im schematischen Querschnitt ein als BAW-Reso-
35 nator in Spiegeltechnologie aufgebautes erfindungsgemäßes
Bauelement. Hier ist gut zu erkennen, daß ein Teil der Spie-
gelschichten R1 bis R4 ebenfalls strukturiert ist. Insbeson-

dere werden die Spiegelschichten hoher Impedanz strukturiert, da sie üblicherweise aus Metall bestehen. Die üblicherweise elektrisch isolierenden Schichten niedriger Impedanz, hier die Schichten R1 und R3, werden ganzflächig aufgebracht und
5 bleiben unstrukturiert, kapseln dabei die Spiegelschichten hoher Impedanz R2 und R4 ein. Der übrige Aufbau des Bauelements entspricht dem in Figur 4 darstellten.

In einer speziellen Ausführung eines erfindungsgemäß ausgebildeten bzw. hergestellten BAW-Resonators dient als Substrat
10 S ein Siliziumwafer mit $\langle 100 \rangle$ Orientierung. Oberflächlich ist dieser mit einer zirka 530 nm dicken Oxidschicht O aus SiO_2 bedeckt. Als unterste Spiegelschicht R4 dient eine Hochimpedanzschicht aus Wolfram mit einer Dicke von zirka 760 nm.
15 Darüber wird eine Spiegelschicht R3 mit niedriger Impedanz aufgebracht, hier eine SiO_2 -Schicht in einer Schichtdicke von 675 nm. Darüber folgt die Spiegelschicht R2, die bezüglich Material und Schichtdicke der Spiegelschicht R4 entspricht. Oberste Spiegelschicht ist wieder eine SiO_2 -Schicht R1, die
20 eine Dicke von zirka 675 nm aufweist. Als erste Elektroden-schicht E1 wird eine Aluminiumschicht mit einer geeigneten Schichtdicke eingesetzt. Darüber wird als Wachstumsschicht W eine Molybdänschicht aufgesputtert, beispielsweise in einer Schichtdicke von 80 nm. Darüber wird die piezoelektrische Schicht P aufgebracht, beispielsweise eine Aluminiumnitrid-schicht in einer Dicke von zirka 2400 nm. Abschließend (in der Figur nicht dargestellt) wird eine zweite Elektroden-schicht E2 aufgebracht, beispielsweise aus einer Aluminium-Kupfer-Legierung.

30

Figur 6 zeigt im schematischen Querschnitt ein als Multilayerpiezoaktor ausgebildetes erfindungsgemäßes Bauelement. Im Unterschied zum allgemeinen Schichtaufbau gemäß Figur 1 alternieren bei diesem Bauelement Elektroden-schichten E und
35 piezoelektrische Schichten P, wobei unterhalb jeder piezoelektrischen Schicht P1 bis P4 eine Wachstumsschicht W1 bis W4 vorgesehen ist. Auch dieser Aktor wird in Dünnschicht-

technologie aufgebaut, wobei die Abscheidebedingungen für die piezoelektrische Schicht so erfolgen, daß ein orientiertes Wachstum erfolgt und dabei eine hoch ausgerichtete kristalline piezoelektrische Schicht erhalten wird. Ein dermaßen ausgebildeter Multilayerpiezoaktor in Dünnschichtbauweise kann eine beliebige Anzahl piezoelektrischer Schichten samt dazugehöriger Elektrodenschichten umfassen. Begrenzender Faktor ist dabei stets die Qualität der aufwachsenden Schichten.

10

Die Strukturierung der einzelnen Schichten des erfindungsgemäßen Piezoaktors erfolgt so, daß die Wachstumsschicht wie üblich von der piezoelektrischen Schicht P eingekapselt ist. Die Elektrodenschichten E1, E2, bzw. die weiteren darüberliegenden Elektrodenschichten E3, E4 usw. sind so strukturiert, daß sie alternierend mit unterschiedlichen Außenelektroden und damit mit unterschiedlichem Potential verbunden werden können. Daraus ergibt sich eine Parallelverschaltung sämtlicher aus je zwei Elektroden und einer dazwischenliegenden piezoelektrischen Schicht bestehenden Einzelaktoren.

20

Nicht näher erläutert werden hier als Sensoren ausgebildete erfindungsgemäße Bauelemente mit piezoelektrischer Funktionsschicht. Diese reagieren auf eine äußere physikalische Einwirkung wie beispielsweise Druck, Temperatur, Beschleunigung, Verbiegung oder auf die Einwirkung einer Chemikalie, wobei als Meßgröße jeweils die piezoelektrisch erzeugte Spannung gemessen werden kann. Während bei einer Temperaturerhöhung oder bei Einwirken einer Kraft auf die piezoelektrische Schicht direkt der piezoelektrische Effekt ausgenutzt wird, so muß dies beim Einsatz als Chemosensor üblicherweise durch eine Hilfsschicht unterstützt werden, die bei Einwirkung einer Chemikalie ihre Eigenschaften dergestalt ändert, daß es sich auf den piezoelektrischen Effekt auswirkt. Derartige Bauelemente sind an sich bekannt, können unterschiedlichste Ausgestaltungen aufweisen und brauchen

30

35

daher hier nicht näher erläutert werden. Entscheidend ist, daß auch bei diesen als Sensoren ausgebildeten Bauelementen mit piezoelektrischer (Funktions-) Schicht mit der Erfindung die Qualität der piezoelektrischen Schicht und damit die
5 Sensitivität des Sensors erhöht wird.

Obwohl die Erfindung nur anhand weniger Ausführungsbeispiele erläutert wurde, ist sie doch nicht auf diese beschränkt. Neben den explizit gezeigten Ausgestaltungen sind weitere
10 Variationen insbesondere bezüglich der Strukturierung der einzelnen Schichten, bezüglich der Materialauswahl, der Schichtdicken, der Dimensionierung oder bezüglich des Vorsehens zusätzlicher Schichten denkbar.

Patentansprüche

1. Bauelement mit einer piezoelektrischen Funktionsschicht, aufweisend
 - 5 - ein Substrat (S)
 - eine erste Elektrodenschicht (E1)
 - eine relativ zur ersten Elektrodenschicht dünne, strukturierte Wachstumsschicht (W)
 - eine piezoelektrische Schicht (P)
 - 10 - eine zweite Elektrodenschicht (E2).
2. Bauelement nach Anspruch 1, bei dem die Wachstumsschicht (W) auf ersten Elektrodenschicht (E1) aufgebracht ist, relativ zur ersten Elektrodenschicht
15 strukturiert ist, und eine geringere Grundfläche als diese aufweist.
3. Bauelement nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die piezoelektrische Schicht (P) die Wachstumsschicht
20 (W) vollständig überdeckt, diese entlang deren gesamten Umfangs seitlich überlappt und dort mit der ersten Elektrodenschicht (E1) abschließt.
4. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 - 3, bei dem die Wachstumsschicht (W) in Abhängigkeit von der piezoelektrischen Schicht (P) so ausgewählt ist, daß sie deren geordnetes Wachstum unterstützt.
5. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 - 4,
30 bei dem die Wachstumsschicht (W) ausgewählt ist aus Au, Mo, W, Pt, Si₃N₄, Saphir, Spinell, Si, Ba₃TiO₃, ZrO₂, MgO und TiO₂.
6. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 - 5,
35 bei dem die piezoelektrische Schicht (P) ausgewählt ist aus AlN und ZnO.

7. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 - 6,
bei dem die erste Elektrodenschicht (E1) einen
Mehrschichtaufbau aufweist, der als eine von der obersten
Schicht des Mehrschichtaufbau verschiedene Schicht eine
5 Titanschicht umfasst.
8. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 - 7,
bei dem zwischen Substrat (S) und erster Elektrodenschicht
(E1) ein akustischer Spiegel (AS) angeordnet ist.
- 10 9. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 - 7,
umfassend einen Mehrschichtaufbau mit mehreren
piezoelektrischen Schichten (P), zwischen denen jeweils eine
weitere Elektrodenschicht (E) und eine weitere
15 Wachstumsschicht (W) angeordnet ist.
10. Bauelement nach Anspruch 9,
ausgebildet als piezoelektrischer Aktor.
- 20 11. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 - 8,
ausgebildet als Anordnung mit zumindest einem mit akustischen
Volumenwellen arbeitenden Resonator.
12. Verfahren zur Herstellung eines Bauelement, das zumindest
einen mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonator
umfasst, mit den Schritten
- Aufbringen einer ersten Elektrodenschicht (E1) auf ein
Substrat (S)
- Strukturieren der ersten Elektrodenschicht zumindest zu
30 einem ersten Elektrodenbereich (E11)
- Aufbringen einer Wachstumsschicht (W) über dem ersten
Elektrodenbereich (E11)
- Strukturieren der Wachstumsschicht so, daß ausschließlich
über dem ersten Elektrodenbereich ein Wachstumsbereich
35 verbleibt, der eine geringere Grundfläche als der erste
Elektrodenbereich (E11) aufweist

- ganzflächiges Aufwachsen einer piezoelektrischen Schicht (P) unter Bedingungen, die über dem Wachstumsbereich ein kristallachsenorientiertes Aufwachsen ermöglichen
- Strukturieren der piezoelektrischen Schicht (P) so, daß
5 sie den Wachstumsbereich vollständig überdeckt, ihn entlang seines gesamten Umfangs seitlich überlappt und dort mit der ersten Elektrodenschicht (E1) abschließt
- Aufbringen und Strukturieren einer zweiten Elektrodenschicht (E2).

10

13.Verfahren nach Anspruch 9,
bei dem die Strukturierung der Wachstumsschicht (W) naßchemisch erfolgt.

15

14.Verfahren nach Anspruch 9 oder 10,
bei dem als Wachstumsschicht (W) eine Goldschicht aufgedampft wird.

20

15.Verfahren nach einem der Ansprüche 9 - 12,
bei dem das Aufwachsen der piezoelektrischen Schicht (P) mittels eines CVD oder PVD Prozesses erfolgt.

Zusammenfassung

Bauelement mit einer piezoelektrischen Funktionsschicht

- 5 In einem elektrischen Bauelement in Dünnschichtbauweise, welches eine piezoelektrische Funktionsschicht aufweist, wird die Schichtqualität der Funktionsschicht dadurch verbessert, daß zwischen Elektrodenschicht und piezoelektrischer Schicht eine Wachstumsschicht vorgesehen wird. Damit wird die
- 10 Funktion der Elektrodenschicht von der einer wachstumsunterstützenden Schicht getrennt, wobei die Funktionen anhand getrennter Schichten unabhängig voneinander optimiert werden können. Erfindungsgemäße Bauelemente können als BAW-Resonatoren, Dünnschichtpiezoaktoren oder
- 15 Piezosensoren ausgebildet sein.

Figur 1

1/2

Fig 1

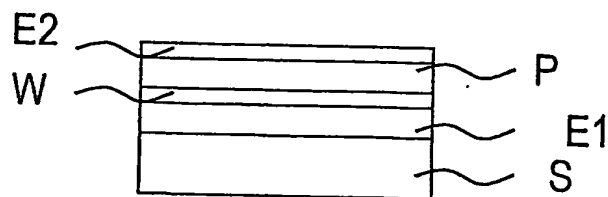


Fig 2

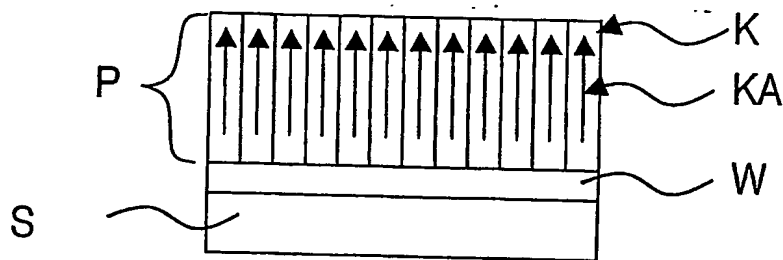


Fig 3A

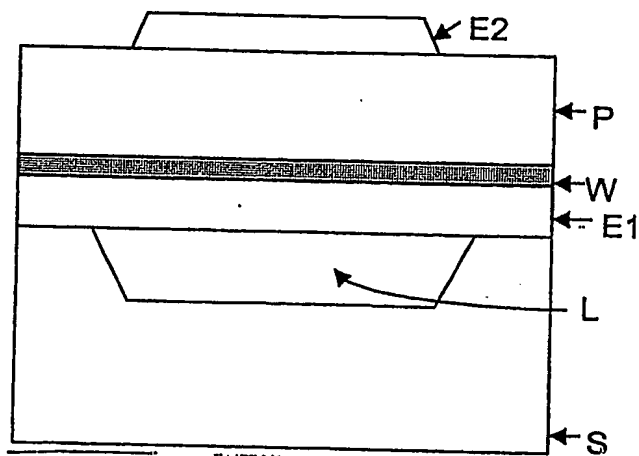
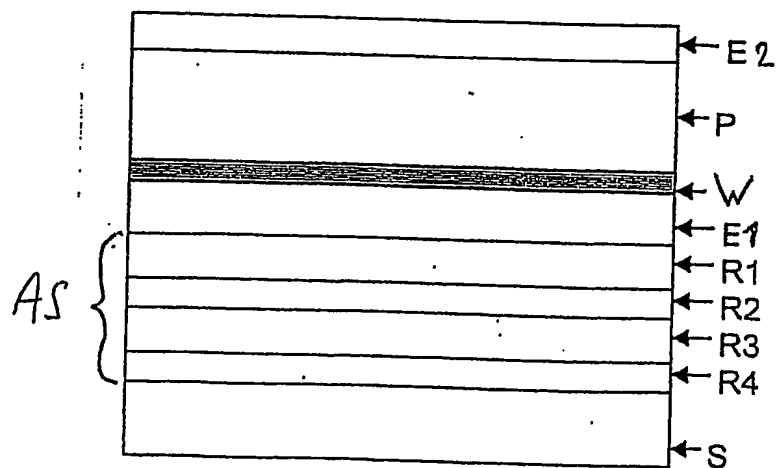


Fig 3B



2/2

Fig 4A

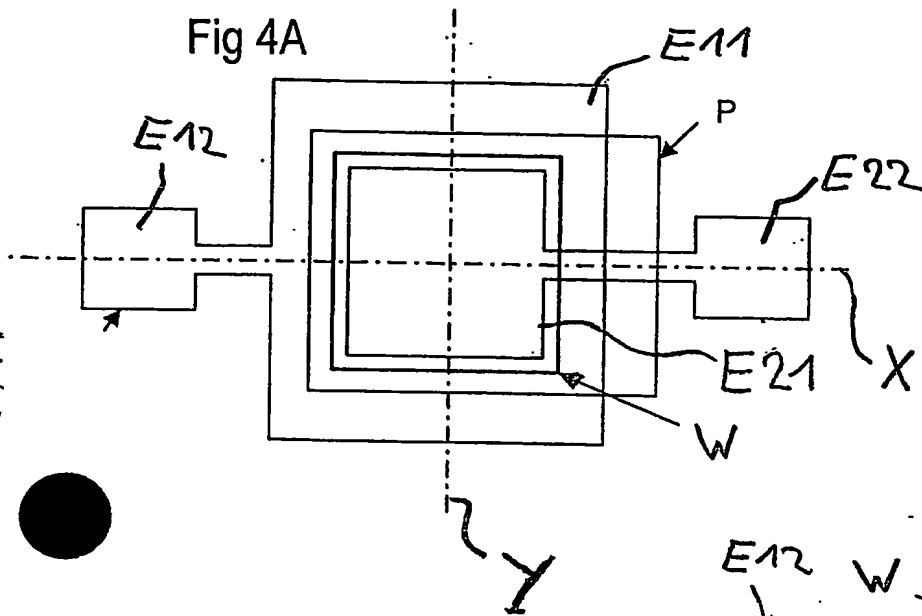


Fig 4B

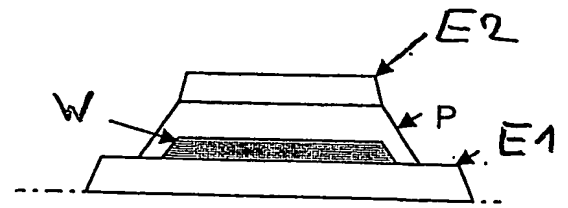


Fig 4C

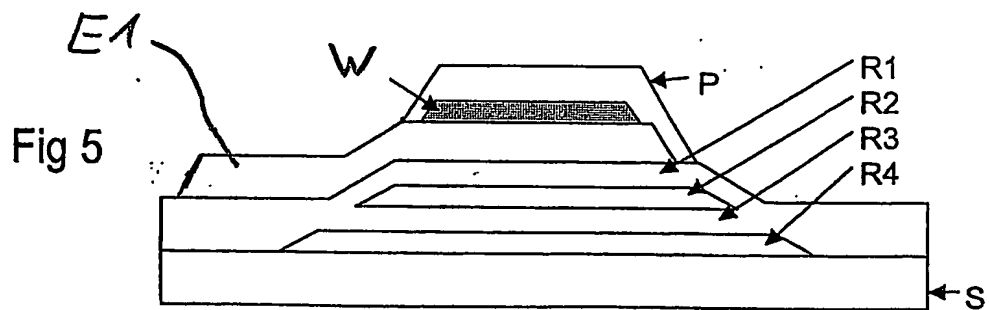
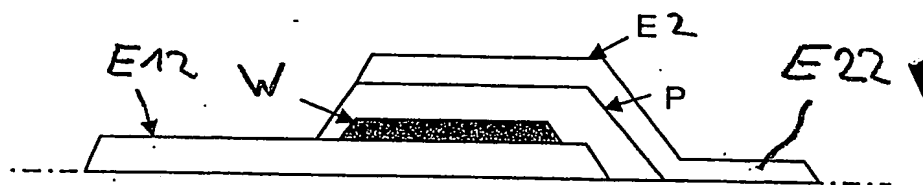


Fig 6

